

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN KOMPONEN *UNDERCARRIAGE* PADA MODEL *EXCAVATOR* DI LABORATORIUM HIDRAULIK DAN PNEUMATIK UNIVERSITAS RIAU

Kiki Gunawan ¹, Nazaruddin ¹²

Laboratorium, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

¹k3y.key@gmail.com, ²nazaruddin.unri@yahoo.com

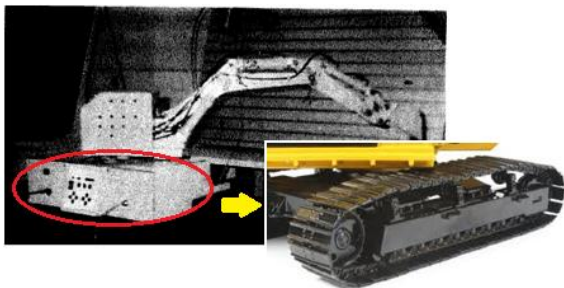
Abstract

Excavator is units of the heavy equipment that serves the physical development sectors such as mining excavations in the area , establishing or expanding roads and expand agricultural land and other physical development . One part of the excavator that has a very large role in the undercarriage . Undercarriage is a component of the heavy equipment that serves as a driver and has a track drive right and left track drive . This research was conducted with the aim to make modeling as excavators in general by using materials available in the market . Next calculate the speed , direction of turn with a different variation of the track (ceramic , asphalt , soil) and the maximum tilt angle that can be achieved by the excavator . From the test data and calculations have been carried out with 3 times the gear reduction is obtained without load speed excavator bucket is 0.25 m / s while using a load of 1.5 kg bucket excavator speed is 0.24 m / s at the track ceramics . While the direction of maximum inflection occurs on the track with a diameter ceramic to turn right for 995 mm and 782 mm turn left . At the maximum angle of incline can be obtained at 10 degrees .

Key Word : *excavator, undercarriage*

1. Pendahuluan

Excavator merupakan unit alat berat yang berfungsi dalam sektor pembangunan fisik seperti penggalian pada areal pertambangan, merintis atau memperluas jalan, penggalian saluran *drainase* atau jaringan pipa air, pembuatan kanal, memperluas lahan pertanian serta pembangunan fisik lainnya. Pada Laboratorium Hidrolik dan Pneumatik telah dihasilkan sebuah model *excavator* seperti pada Gambar 1.1, dimana bagian *undercarriage* masih dibuat *fixed* pada suatu *plat*, sehingga gerakannya masih terbatas pada gerakan *bucket*, *arm*, dan *boom*[7]. Pada penelitian ini akan dirancang dan dibuatkan *undercarriage* dengan memanfaatkan bahan-bahan yang tersedia dipasaran sehingga gerakan *body* dari *excavator* ini lebih *movable*.



Gambar 1.1 *Undercarriage* (Julianto, 2004)

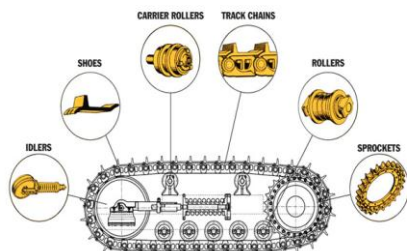
Undercarriage merupakan komponen dari alat berat yang berfungsi sebagai penggerak dan memiliki *track drive* kanan dan *track drive* kiri. Fungsi dari kedua *track* tersebut untuk menahan dan mendukung berat kendaraan yang ada dan bergerak maju mundur dan arah menyamping sesuai arah yang diinginkan. Pergerakan tersebut dikendalikan dengan memakai sistem daya yang ditransmisikan dari mesin atau *engine*. Tujuan dari penelitian ini yaitu : Mendapatkan hasil pemodelan berupa *undercarriage excavator* seperti *undercarriage* pada umumnya, Menghitung pergerakan *undercarriage* berupa kecepatan yang bisa ditempuh *undercarriage* dari perancangan dan pembuatan yang telah dilakukan, Menganalisis arah belok yang bisa dicapai oleh *undercarriage* dan Menganalisis besarnya sudut kemiringan yang bisa diperoleh *excavator*.

2. Teori Dasar

Perancangan adalah suatu kegiatan yang memiliki tujuan untuk mendesign sistem baru yang dapat menyelesaikan masalah yang dihadapi[10]. *Undercarriage* atau penggerak bawah kerangka merupakan komponen dari alat berat yang berfungsi sebagai penggerak dan memiliki *track drive* kanan dan *track drive* kiri. Fungsi dari kedua *track* tersebut untuk menahan dan mendukung berat kendaraan yang ada dan bergerak maju mundur dan arah menyamping sesuai arah yang diinginkan.

Pergerakan tersebut dikendalikan dengan memakai sistem daya yang ditransmisikan dari mesin atau *engine*.

Undercarriage adalah salah satu komponen yang mempunyai sistem kerja yang difungsikan untuk menggerakkan atau menjalankan *excavator* baik bergerak maju ataupun mundur[20]. Adapun sistem kerja dari pada *undercarriage* dengan memfungsikan *fluida* (oli) yang bertekanan untuk menggerakkan piston. Sistem kerjanya dengan menggunakan mesin sebagai penggerak pompa, dari pompa akan diteruskan ke *pilot pump* sehingga *fluida* akan *standby*. *Fluida* yang lain akan digerakkan ke *control valve* dengan menggunakan *hose*, dari *control valve* diarahkan ke *center joint*, kemudian diteruskan ke *undercarriage*. Fungsi *center joint* adalah untuk mencegah melilitnya *hose* pada saat *swing* bergerak atau berputar.



Gambar 2.2 Komponen-komponen *Undercarriage*

Roda gigi merupakan elemen mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya dan putaran dari poros ke poros yang lain dengan rasio kecepatan yang konstan dan memiliki tingkat efisiensi yang tinggi. Untuk itu dibutuhkan ketelitian dalam pemilihan, pemasangan dan pemeliharaan. Agar roda gigi mentransmisikan daya dengan baik maka diperlukan hasil perancangan yang teliti, sehingga bisa diperoleh dimensi, jenis material, waktu pakai yang lama dan harga yang ekonomis. Rantai yang terdiri dari sejumlah *link* kaku yang berengsel dan disambung oleh *pin* untuk memberikan fleksibilitas yang diperlukan. Rantai digunakan untuk mentransmisikan daya antara dua poros. Rantai mengait pada gigi *sproket* dan meneruskan daya tanpa *slip*. Dibandingkan dengan transmisi roda gigi, rantai jauh lebih murah akan tetapi berisik serta kapasitas daya dan kecepatannya lebih kecil. Rantai transmisi daya digunakan untuk jarak poros lebih besar dari pada transmisi roda gigi tetapi lebih pendek dari pada transmisi sabuk. Jenis roda gigi yang digunakan antara lain :

1. *Spur gear* (Roda gigi lurus)

Roda gigi lurus digunakan untuk memindahkan gerakan putaran antara poros-poros sejajar yang biasanya berbentuk silindris, gigi-giginya lurus dan sejajar dengan sumber putaran.



Gambar 2.3 *Spur Gear*

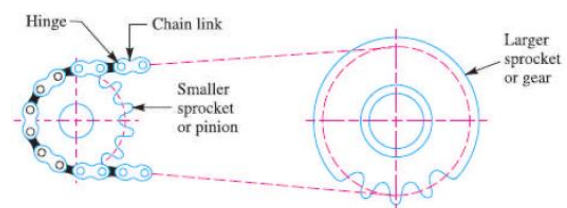
2. *Hypoid gear*

Hypoid gear bentuknya hampir menyerupai *spiral bevel gear*, namun perbedaannya terletak pada *pitch* yang lebih *hiperbolid* dibandingkan dengan *cousenya* dan mengoperasikannya lebih lembut dan tenang.



Gambar 2.4 *Hypoid Gear*

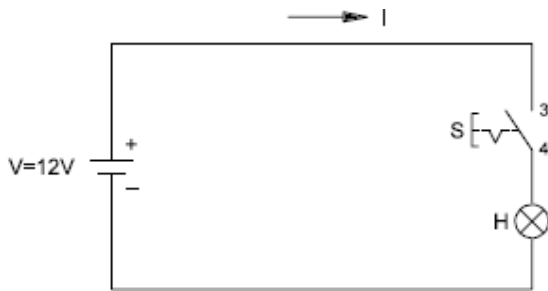
Rantai dan *sprocket* yang terdiri dari sejumlah *link* kaku yang berengsel dan disambung oleh *pin* untuk memberikan fleksibilitas yang diperlukan. Rantai digunakan untuk mentransmisikan daya antara dua poros. Rantai mengait pada gigi *sproket* dan meneruskan daya tanpa *slip*. Dibandingkan dengan transmisi roda gigi, rantai jauh lebih murah akan tetapi berisik serta kapasitas daya dan kecepatannya lebih kecil. Rantai transmisi daya digunakan untuk jarak poros lebih besar dari pada transmisi roda gigi tetapi lebih pendek dari pada transmisi sabuk.



Gambar 2.5 Ilustrasi Rantai dan *Sprocket*

Arus Listrik adalah banyaknya muatan listrik yang disebabkan dari pergerakan elektron – elektron yang mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Arus listrik dapat diukur dalam satuan *coulomb/second* atau *Ampere*. Dalam kebanyakan sirkuit arus searah dapat diasumsikan *resistance* terhadap arus listrik adalah konstan

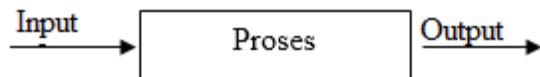
sehingga arus yang mengalir dalam suatu sirkuit bergantung pada *voltage* [22].



Gambar 2.6 Sirkuit Arus Listrik

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat beban dan lain sebagainya.

Secara umum sistem kontrol adalah susunan komponen-komponen fisik yang dirakit sedemikian rupa sehingga mampu mengatur sistemnya sendiri atau sistem di luarnya. Sistem kontrol adalah proses pengaturan atau pengendalian terhadap satu atau beberapa variabel sehingga berada pada suatu harga *range* tertentu. Istilah lain sistem kontrol atau teknik kendali adalah teknik pengaturan, sistem pengendalian, atau sistem pengontrolan [16].

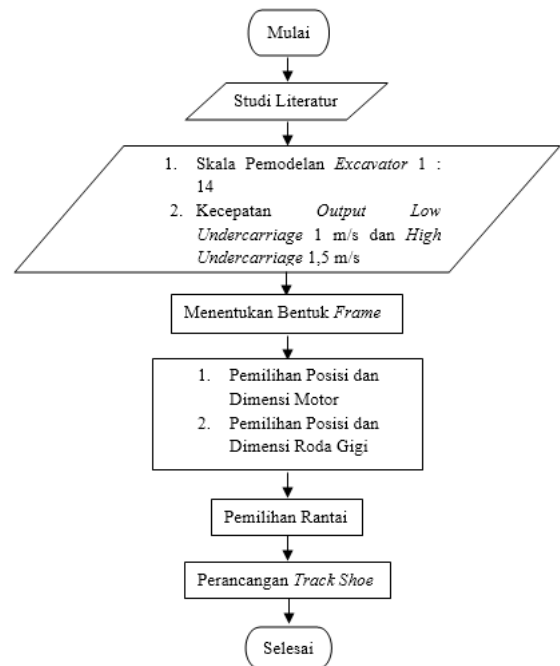


Gambar 2.7 Sistem Control Sederhana

3. Metode

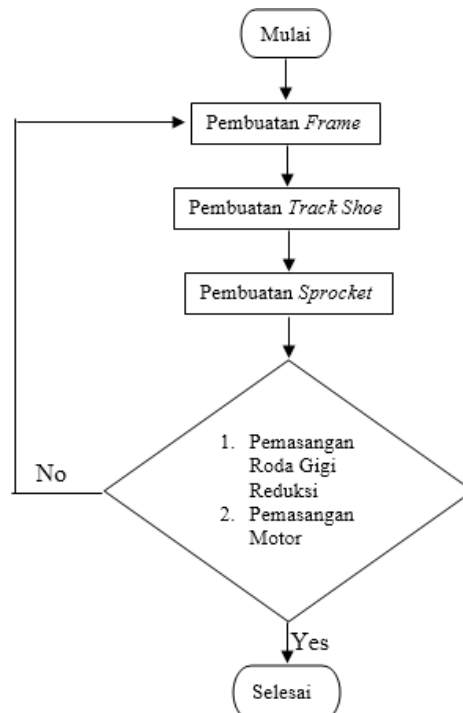
Penelitian ini melakukan 3 tahapan yaitu : tahapan perancangan, pembuatan dan pengujian. Tahapan-tahapan tersebut bisa dijelaskan dengan *flowchart* di bawah ini :

3.1 Tahapan Kegiatan Perancangan *Undercarriage*



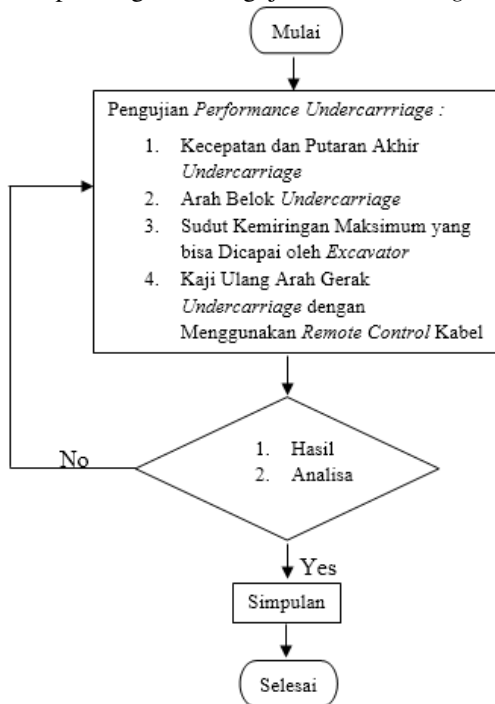
Gambar 3.1 Alur Perancangan *Undercarriage*

3.2 Tahapan Kegiatan Pembuatan *Undercarriage*



Gambar 3.2 Alur Pembuatan *Undercarriage*

3.3 Tahapan Kegiatan Pengujian *Undercarriage*



Gambar 3.3 Alur Pengujian *Undercarriage*

4. Hasil

Dari pengujian *performance* yang telah dilakukan, maka diperoleh data kecepatan dan arah belok *excavator* di berbagai model lintasan. Untuk pengujian kecepatan *excavator* dan arah belok *excavator* dilakukan pada 3 variasi lintasan yaitu : keramik, aspal dan tanah. Sedangkan untuk bidang miring, pengujian dilakukan dengan 6 variasi sudut yaitu : 5°, 10°, 15°, 20°, 25° dan 30°. Untuk pengujian kecepatan dan bidang miring data yang diambil pada saat pengujian antara lain : waktu dan panjang lintasan.

4.1 Untuk *excavator* tanpa beban, diperoleh kecepatan dan putaran akhir dari *undercarriage* :

1. Pada lintasan aspal

$$V = \frac{l}{t} = \frac{2}{9,71} = 0,21 \text{ m/s} = 41,34 \text{ ft/min}$$

$$\omega = \frac{V}{60} \times \frac{12}{r} = \frac{41,34}{60} \times \frac{12}{0,98} = 8,44 \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi} = \frac{60 \times 8,44}{6,28} = 80,64 \text{ rpm}$$

2. Pada lintasan keramik

$$V = \frac{l}{t} = \frac{2}{7,88} = 0,25 \text{ m/s} = 49,21 \text{ ft/min}$$

$$\omega = \frac{V}{60} \times \frac{12}{r} = \frac{49,21}{60} \times \frac{12}{0,98} = 10,04 \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi} = \frac{60 \times 10,04}{6,28} = 95,92 \text{ rpm}$$

3. Pada lintasan tanah

$$V = \frac{l}{t} = \frac{2}{14,29} = 0,14 \text{ m/s} = 27,56 \text{ ft/min}$$

$$\omega = \frac{V}{60} \times \frac{12}{r} = \frac{27,56}{60} \times \frac{12}{0,98} = 5,62 \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi} = \frac{60 \times 5,62}{6,28} = 53,69 \text{ rpm}$$

4.2 Untuk *excavator* dengan beban 1,5 kg, diperoleh kecepatan *undercarriage* :

1. Pada lintasan aspal

$$V = \frac{l}{t} = \frac{2}{9,86} = 0,20 \text{ m/s} = 39,37 \text{ ft/min}$$

$$\omega = \frac{V}{60} \times \frac{12}{r} = \frac{39,37}{60} \times \frac{12}{0,98} = 8,03 \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi} = \frac{60 \times 8,03}{6,28} = 76,72 \text{ rpm}$$

2. Pada lintasan keramik

$$V = \frac{l}{t} = \frac{2}{8,48} = 0,24 \text{ m/s} = 47,24 \text{ ft/min}$$

$$\omega = \frac{V}{60} \times \frac{12}{r} = \frac{47,24}{60} \times \frac{12}{0,98} = 9,64 \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi} = \frac{60 \times 9,64}{6,28} = 92,10 \text{ rpm}$$

3. Pada lintasan tanah

$$V = \frac{l}{t} = \frac{2}{15,60} = 0,13 \text{ m/s} = 25,59 \text{ ft/min}$$

$$\omega = \frac{V}{60} \times \frac{12}{r} = \frac{25,59}{60} \times \frac{12}{0,98} = 5,16 \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi} = \frac{60 \times 5,16}{6,28} = 49,30 \text{ rpm}$$

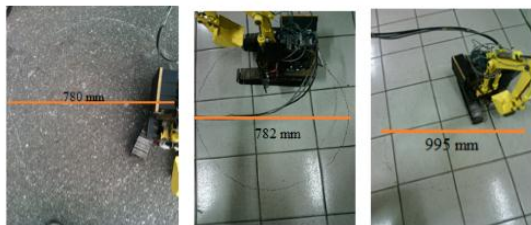
5. Pembahasan

5.1 Kecepatan dan putaran akhir *undercarriage*

Dari perhitungan terhadap hasil pengujian dengan menggunakan *adaptor* 12 v 10 A serta sistem transmisi dengan 3 kali reduksi dan panjang lintasan pengujian yaitu 2 meter tanpa beban dan dengan penambahan beban pada *bucket*. Berdasarkan perhitungan di atas, tanpa beban diperoleh kecepatan dan putaran akhir yang paling besar yaitu terdapat

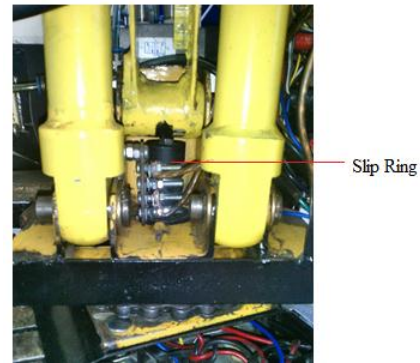
pada lintasan keramik dengan kecepatan 0,25 m/s dengan putaran akhir 90,92 rpm. Sedangkan dengan penambahan beban pada *bucket* sebesar 1,5 kg kecepatan akhir *undercarriage* pada lintasan keramik yaitu 0,24 m/s dan putaran akhir sebesar 92,10 rpm. Pada *excavator* umumnya kecepatan dari *undercarriage* yaitu terbagi menjadi dua kecepatan, kecepatan *low* dan *high*. Untuk kecepatan *low* pada *undercarriage* yaitu 3,6 km/h atau 1 m/s, sedangkan untuk kecepatan *high undercarriage* dapat bergerak dengan kecepatan 5,5 km/h atau 1,5 m/s. Dari hasil perhitungan berdasarkan pengujian dapat dianalisa bahwa dengan skala 1 : 14 dan menggunakan motor *power windows* Toyota Kijang yang kemudian dilakukan 3 kali reduksi terhadap roda gigi maka kecepatan dari *excavator* masih belum bisa mencapai kecepatan seperti *excavator* pada umumnya. Faktor penambahan beban angkut tidak mempunyai pengaruh yang besar terhadap kecepatan dan putaran yang terjadi pada *undercarriage*.

5.2 Arah belok *undercarriage*



Gambar 5.1 Arah Belok *Undercarriage*

Dari pengujian yang telah dilakukan pada lintasan aspal, keramik dan tanah, maka diameter maksimum terjadi pada lintasan keramik, dimana nilai diameter yang dicapai yaitu 995 mm pada saat arah belok kanan dan 782 pada saat belok kiri. Sedangkan untuk lintasan tanah dan belok kiri pada aspal *excavator* tidak mampu melakukannya. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa hal, antara lain : Kurangnya daya masuk terhadap motor sebelah kiri sedangkan gaya gesek yang dialami *track shoe* terhadap lintasan cukup besar. Kurangnya daya motor disebabkan oleh besarnya hambatan pada *slip ring*. Hambatan yang besar ini yang menyebabkan kurang sempurna daya yang disalurkan ke motor. *Slip ring* merupakan tempat mengalirnya arus dari *remote control* ke motor. Prinsip kerja *slip ring* ini sama dengan sistem klakson mobil. Ini digunakan agar pada saat *excavator* berputar, kabel dari *remote control* ke motor tidak melilit.



Gambar 5.2 *Slip Ring*

Adanya perbedaan kekasaran permukaan lintasan pengujian sehingga menyebabkan besarnya gesekan antara lintasan dengan *track shoe*. Besarnya gesekan ini berpengaruh pada hasil belok *undercarriage* yang kurang optimal.

5.3 Sudut kemiringan *excavator*

Pengujian pada kemiringan dilakukan untuk mengetahui berapa besar sudut maksimum yang bisa diperoleh oleh *excavator* dengan menggunakan motor *power windows* Toyota Kijang dan dengan melakukan 3 kali reduksi pada sistem roda gigi. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan sudut kemiringan pada lintasan. Sebelum mengetahui besarnya daya yang dibutuhkan, maka harus diketahui berapa besarnya kecepatan sudut dari motor menuju *track shoe* pada saat mendaki dengan sudut 5 derajat :

$$V = \frac{l}{t} = \frac{1000}{12,43} = 0,08 \text{ m/s} = 15,75 \text{ ft/min}$$

$$\omega = \frac{V}{60} \times \frac{12}{r} = \frac{15,75}{60} \times \frac{12}{0,98} = 3,21 \text{ rad/sec}$$

Untuk nilai gesekan antara lintasan-*track shoe* $\mu = 0,1$, maka gaya gesekan yaitu :

$$f_s = \mu \cdot N = 0,1 \times 160 = 16 \text{ N}$$

Dari nilai gaya gesek di atas, dapat diperoleh besarnya nilai torsi yaitu :

$$F = W \sin \theta = 160 \sin 5 = 13,94 \text{ N}$$

Maka, nilai torsi (T) dapat ditentukan dengan :

$$T = F - (f_s \cdot r) = 13,94 - 4 = 9,95 \text{ N.m}$$

Jadi daya yang dibutuhkan oleh *excavator* untuk bergerak pada kemiringan 5 derajat dapat ditentukan dengan :

$$P = T \cdot \omega = 9,94 \times 3,21 = 31,97 \text{ Watt}$$

Daya yang dibutuhkan pada variasi kemiringan sudut dapat dilihat pada Tabel 5.1

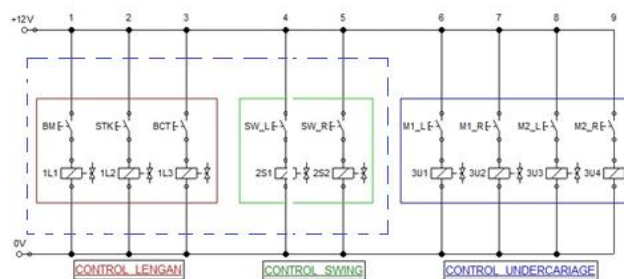
Tabel 5.1 Hasil Pengujian *Excavator* Terhadap Bidang Miring

Sudut (°)	sin θ	Gaya, F (N)	Torsi, T (N.m)	Daya, P (Watt)
5	0,09	13,94	13,54	43,54
10	0,17	27,78	27,38	88,02
15	0,26	41,41	41,01	131,82
20	0,34	54,72	54,32	174,61
25	0,42	67,62	67,22	216,06
30	0,50	80,00	79,60	255,86

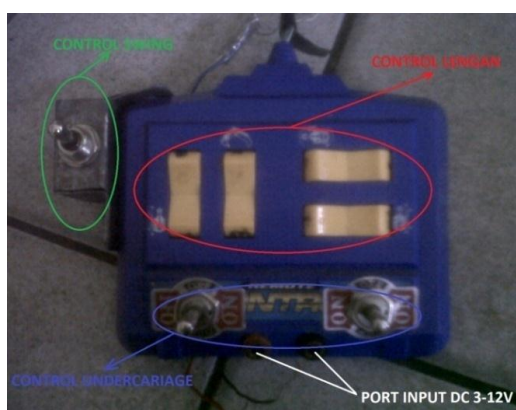
Dari Tabel 5.1 diperoleh nilai sudut yang bisa dicapai oleh *excavator* dengan sudut kemiringan maksimum 10 derajat dengan daya 88,02 Watt. Sedangkan motor mempunyai daya maksimum 94,5 Watt. Jadi semakin besar sudut kemiringan maka daya yang dibutuhkan juga akan semakin besar.

5.4 Kaji ulang arah gerak *undercarriage* dengan menggunakan *remote control* kabel.

Undercarriage ini dirancang dengan sistem *remote control* untuk dapat menjalankan motor yang dihubungkan ke *adaptor* sebagai sumber arus. *Remote control* ini sudah dimodifikasi dari *remote control* kabel yang mudah diperoleh. Berikut di bawah ini rangkaian *remote control undercarriage* :



Gambar 5.3 Rangkaian *Remote Control*



Gambar 5.4 Hasil Modifikasi *Remote Control*

Dalam sirkuit ini ada tiga kelompok besar pengontrolan yaitu *control* lengan, *control swing* dan *control undercarriage*. Dalam penelitian ini yang dibahas bagian *control undercarriage*, karena *control swing* dan *control* lengan di bahas di penelitian lain. Keterangan dari sirkuit yang telah direncanakan dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Keterangan Simbol Perancangan Sirkuit Kelistrikan

No.	Label	Keterangan
1	BM	Tombol untuk menggerakkan <i>Boom</i>
2	SKT	Tombol untuk menggerakkan <i>Stick</i>
3	BCT	Tombol untuk menggerakkan <i>Bucket</i>
4	SW_L	Tombol untuk menggerakkan Motor <i>Swing</i> putaran CW
5	SW_R	Tombol untuk menggerakkan Motor <i>Swing</i> putaran CCW
6	M1_L	Tombol untuk menggerakkan Motor 1 putaran CW
7	M1_R	Tombol untuk menggerakkan Motor 1 putaran CCW
8	M2_L	Tombol untuk menggerakkan Motor 2 putaran CW
9	M2_R	Tombol untuk menggerakkan Motor 2 putaran CCW
10	1L1	Soket Colokan <i>Boom</i> ke panel kontrol
11	1L2	Soket Colokan <i>Stick</i> ke panel kontrol
12	1L3	Soket Colokan <i>Bucket</i> ke panel kontrol
13	2S1	Soket Colokan Motor <i>Swing</i> putaran CW ke panel kontrol
14	2S2	Soket Colokan Motor <i>Swing</i> putaran CCW ke panel kontrol
15	3U1	Soket Colokan Motor 1 putaran CW panel kontrol
16	3U2	Soket Colokan Motor 1 putaran CCW panel kontrol
17	3U3	Soket Colokan Motor 2 putaran CW panel kontrol
18	3U4	Soket Colokan Motor 2 putaran CCW panel kontrol
19	0V	Port Input arus listrik Negatif
20	+12V	Port Input arus listrik Positif

Remote akan diganti rangkaiannya dengan rangkaian yang telah direncanakan, tombol kendali *undercarriage* diletakkan dibagian bawah tombol lengan. Tombol *undercarriage* berfungsi untuk menggerakkan motor listrik agar bergerak maju-mundur dan berubah arah kiri-kanan maka untuk menggerakkan dua arah diperlukan tombol tiga *port* (*on-off-on*). Hasil dari pembuatan tombol *undercarriage* dan perakitan *remote* dapat dilihat pada gambar 5.4

6. Simpulan

Dari hasil perancangan, pembuatan dan perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa simpulan dari tugas akhir yang berjudul perancangan dan pembuatan komponen *undercarriage* pada model *excavator* di Laboratorium Hidraulik dan Pneumatik Universitas Riau, yaitu :

1. Didapatkan bentuk *undercarriage* dari perancangan dan pembuatan yang telah dilakukan dengan perbandingan skala 1:14.
2. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan maka dengan melakukan 3 kali reduksi pada sistem roda gigi dan menggunakan motor *power windows* Toyota Kijang belum diperolehnya kecepatan *excavator* seperti pada *excavator* umumnya yaitu 3,6 km/h atau 1 m/s untuk kecepatan *low undercarriage* dan

5,5 km/h atau 1,5 m/s untuk kecepatan *high undercarriage*.

3. Dari pengujian terhadap arah belok yang bisa dilakukan *undercarriage* di lintasan aspal, keramik dan tanah maka diameter maksimum terdapat pada lintasan keramik sedangkan pada lintasan aspal untuk belok kiri dan lintasan tanah *excavator* tidak mampu melakukan pembelokan.
4. Untuk kemiringan yang dilakukan maka sudut maksimum yang bisa dicapai *excavator* yaitu 10 derajat dengan daya 88,02 Watt.
5. Diperoleh *remote control* kabel yang dimodifikasi untuk menggerakkan *undercarriage*.

Daftar Pustaka

- [1] Budynas, Richard G. Nisbett, J. Keith. 2011. *Shigley's Mechanical Engineering Design* 9 th Ed.
- [2] Callister Jr, William, D. 2007. *Materials Science and Engineering* 7 th Ed, University of Utah.
- [3] Chan, Yefri. 2010. Perancangan Roda Gigi Lurus. Universitas Guna Darma <http://yefrichan.files.wordpress.com/2010/05/perancangan-roda-gigi-lurus.html> (Diakses 03 Maret 2014)
- [4] F, Ebel Dr. 2002. *Electropneumatics Festo Didactic Vol 1*. Germany: Festo Didactic Industries.
- [5] Jati, Hidayah. 2011. Peningkatan Perawatan Komponen *Undercarriage* Alat Berat. Depok: Universitas Indonesia.
- [6] Jeffrey, Renold. 2011. *Roller Drive Chain Selection*. America: Advancing Chain Technology Ltd.
- [7] Julianto. 2004. Perencanaan dan Pengujian Model *Excavator*, Kertas Karya Prodi D3 Teknik Mesin Universitas Riau
- [8] Khurmi, R.S. Gupta, J, K. 2005. *a textbook of machine design*. New Delhi : Eurasia Pulishing House.
- [10] Kurniawan, Wahyu. 2010. Bagian III Rantai. http://www.wahyukurniawan.web.id/bagianIII_rantai.pdf.html (Diakses 21 April 2014)
- [11] Ladjamudin, bin Albahra. 2005. Analisis dan *design* sistem informasi
- [12] LKN. 2006. Proses Penentuan *Economic Excavator*. <http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2/LKN2006-154-Bab%202.html> (Diakses 03 Maret 2014)
- [13] M. F. Spotts. 1964. *Design of Machine Elements*. Northwestern University: Prentice-Hall.
- [14] Nice, Karim. 2014. Spur Gear. <http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/gear2.html> (Diakses 25 Juni 2014)
- [15] Nigbo. 2012. Komponen-komponen *Undercarriage* <http://www.rocktrackshoe.com/> (Diakses 1 Juli 2014)
- [16] Pakpahan, Sahat. 1988. Kontrol Otomotif Teori dan Penerapan. Jakarta : Erlangga.
- [17] Prasetyo, Deta. 2010. Pembuatan Alat Praktikum Perawatan Sistem Transmisi Roda Gigi. Surakarta : Universitas Sebelas Maret <http://eprints.uns.ac.id/6032/1/180121011201104021.html> (Diakses 03 Maret 2014)
- [18] Part, Source spare. 2012. Track shoe. http://sourcespareparts.com/index.php?_m=mod_product&_a=view&p_id=80 (Diakses 1 juli 2014)
- [19] Rini. 2012. Perencanaan Roda Gigi. <http://riniftpub.lecture.ub.ac.id/files/2012/11/Roda-gigi-2012.html> (Diakses 03 Maret 2014)
- [20] Soleh, Muhammad. 2005. Sistem Operasi dan Perawatan *Travel Motor* pada *Excavator Hitachi Zaxis-200*, Prodi D3 Teknik Mesin Universitas Riau
- [21] Sularso, Suga, Kiyokatsu. 2004. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta : Pradnya Paramita.
- [22] Wikipedia. 2010. Arus Listrik. http://www.id.wikipedia.org/wiki/aru_listrik.html (Diakses 20 April 2014)
- [23] Zuchry, Muhammad. 2011. Analisa Gaya Angkat dengan Variasi Sudut Elevasi Pada Silinder Pengangkat *Excavator Cat 320*